

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
A 6 1 B 5/055				
G 0 1 R 33/32				
			A 6 1 B 5/ 05	3 1 1
			G 0 1 N 24/ 02	5 3 0 B
審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 10 頁)				

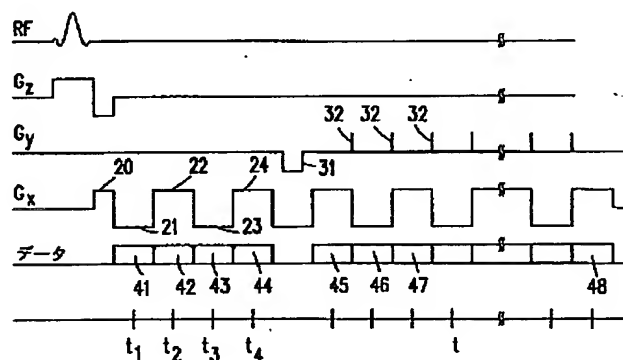
(21) 出願番号	特願平7-277968	(71) 出願人	590000248 フィリップス エレクトロニクス ネムローゼ フェンノートシャップ PHILIPS ELECTRONICS N. V. オランダ国 アインドーフエン フルーネ ヴァウツウエッハ 1
(22) 出願日	平成7年(1995)10月25日	(72) 発明者	ペーター ベルネルト ドイツ連邦共和国 22547 ハンブルク ユッケルシュトラッセ 14ゲー
(31) 優先権主張番号	P 4 4 3 8 4 8 8 : 2	(74) 代理人	弁理士 伊東 忠彦 (外1名)
(32) 優先日	1994年10月28日		
(33) 優先権主張国	ドイツ (DE)		

(54) 【発明の名称】 磁気共鳴方法及び磁気共鳴装置

(57) 【要約】

【課題】 本発明の目的は、必要な磁気共鳴信号の取得は十分素早く行われ、位相誤差、又は位相誤差から生じるアーティファクトが非常に抑制される磁気共鳴方法を提供することである。

【解決手段】 本発明の方法によれば、多数の磁気共鳴信号は、交番極性の読み出し傾斜の影響下でシーケンス内に連続的に得られる。N/2 ゴースト画像は、同一シーケンス中に取得された磁気共鳴信号から得られた磁気共鳴補正データを用いて磁気共鳴の生データを補正することにより防止される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 a) 少なくとも一つの無線周波パルスよりなるシーケンスを用いて均一な静磁場を受けた検査区域の核磁化を励起する段階と、
 b) 次いで交番極性の読み出し傾斜を発生し、同時に位相符号化傾斜を発生する段階と、
 c) 磁気共鳴の生データを得るため、上記読み出し傾斜の上記極性の反転の後に生じる磁気共鳴信号を得る段階と、
 d) 上記読み出し傾斜と同一シーケンス中に同一の時間的変化を伴って位相符号化なしに得られた磁気共鳴信号から得られた磁気共鳴補正データを用いて上記磁気共鳴の生データを補正する段階と、
 e) 上記補正された磁気共鳴の生データから上記核磁化の分布を再生する段階とからなる、磁気共鳴方法であって：上記読み出し傾斜 (G_x) の全体の正の極性及び負の極性で上記位相符号化傾斜 (G_y) による影響のない少なくとも 3 個の磁気共鳴信号が得られ、上記磁気共鳴補正信号は、上記磁気共鳴信号又は上記磁気共鳴号からフーリエ変換により得られた磁気共鳴データから得られることを特徴とする磁気共鳴方法。

【請求項 2】 - 上記磁気共鳴信号、又は、上記磁気共鳴信号からフーリエ変換により得られた上記磁気共鳴データ ($S(t_1, x)$, $S(t_3, x)$) の位相誤差の変化 (例えば、 $\alpha(t_1, x)$, $\alpha(t_3, x)$) が定められ、

- 上記読み出し傾斜の同一極性と関係した上記位相誤差の変化 ($\alpha(t_1, x)$, $\alpha(t_3, x)$) の時間的変化 (da_0 , da_1 ; db_0 , db_1) から、上記読み出し傾斜の上記極性で別の時点 (t) に得られた磁気共鳴信号、又は、その磁気共鳴信号から得られた磁気共鳴の生データ ($S(t, x)$) の上記位相誤差の変化が評価され、それに応じて上記磁気共鳴の生データが補正されることを特徴とする請求項 1 記載の磁気共鳴方法。

【請求項 3】 補正係数 ($A(x)$, $B(x)$) は磁気共鳴データから得られ、上記読み出し傾斜の同一極性から得られた上記磁気共鳴の生データ ($S(t, x)$) は上記補正係数により乗算されることを特徴とする請求項 1 記載の磁気共鳴方法。

【請求項 4】 上記シーケンスは、上記磁気共鳴補正信号を形成するため使用される上記磁気共鳴信号が位相符号化のない交番極性の読み出し傾斜の間に得られる補正時間間隔 (41...44) と、次いで測定データを形成するため使用される上記磁気共鳴信号が交番極性の読み出し傾斜の間に位相符号化傾斜の影響下で得られる少なくとも 1 個の測定時間間隔 (45...48) とからなることを特徴とする請求項 1 記載の磁気共鳴方法。

【請求項 5】 上記シーケンスは、上記核磁化を励起する第 1 の無線周波パルスと、引続き上記核磁化を反転させる無線周波パルスとからなり、上記補正時間間隔は上

記二つの無線周波パルスの間にあり、一方、上記測定時間間隔は上記向きを変える無線周波パルスの後に続くことを特徴とする請求項 4 記載の磁気共鳴方法。

【請求項 6】 上記核磁化を励起する第 1 の無線周波パルスは、複数のブロックが後に続けられ、上記ブロックの各々は、夫々の方向を変える無線周波パルスと、所定数の極性の反転を伴う読み出し傾斜とからなり、上記ブロックの中の最初の 1 個は位相符号化傾斜を含まず、一方、他のブロックは位相符号化傾斜を含むことを特徴とする請求項 4 記載の磁気共鳴方法。

【請求項 7】 a) 均一な静磁場を発生させる主界磁石 (1) と、

b) 交番極性の読み出し傾斜 (G_x) を発生させ、位相符号化傾斜 (G_y) を発生させる傾斜コイル装置 (3, 5, 7) と、

c) 少なくとも 1 個の無線周波パルス (RF) よりなるシーケンスを用いて検査区域 (19) における核磁化を励起する無線周波コイル装置 (11) と、

d) 上記読み出し傾斜の間に発生された上記磁気共鳴信号を受ける受信器 (9) と、

e) 位相符号化のない磁気共鳴データから得られた磁気共鳴補正データ ($\alpha(t, x)$; $\beta(t, x)$) を用いて上記磁気共鳴信号から発生された磁気共鳴の生データ ($S(t, x)$) を補正する手段 (102...104) と、

f) 補正された磁気共鳴の測定データから上記検査区域における上記核磁化を再生する再生装置 (13, 105) と、

g) 上記傾斜コイル装置 (3, 5, 7) と、上記無線周波コイル装置 (11) と、上記受信器 (9) とを制御する制御装置 (12) とからなる、請求項 1 記載の方法を実行する磁気共鳴装置であって、

上記制御装置 (12) は、上記シーケンス内の上記読み出し傾斜及び上記位相符号化傾斜の時間的変化によって上記位相符号化傾斜 (G_y) による影響のない上記磁気共鳴補正データを得るため使用される夫々の磁気共鳴信号が上記読み出し傾斜 (G_x) の正及び負の極性の 2 又は 3 個の各時間間隔 (41...44) の間に得られるよう、上記傾斜コイル装置及び受信器を制御することを特徴とする磁気共鳴装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、交番極性の読み出し傾斜の影響下で磁気共鳴信号をシーケンスに連続的に得る磁気共鳴方法及び磁気共鳴装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 本発明は、特に、a) 少なくとも一つの無線周波パルスよりなるシーケンスを用いて均一な静磁場を受けた検査区域の核磁化を励起する段階と、

b) 次いで交番極性の読み出し傾斜を発生し、同時に位

相符号化傾斜を発生する段階と、

c) 磁気共鳴の生データを得るため、上記読み出し傾斜の上記極性の反転の後に生じる磁気共鳴信号を得る段階と、

d) 上記読み出し傾斜と同一シーケンス中に同一の時間的変化を伴って位相符号化なしに得られた磁気共鳴信号から得られた磁気共鳴補正データを用いて上記磁気共鳴の生データを補正する段階と、

e) 上記補正された磁気共鳴の生データから上記核磁化の分布を再生する段階とからなる、磁気共鳴方法に係る。

【0003】複数の磁気共鳴信号が読み出し傾斜の交番極性を用いて連続的に得られる磁気共鳴方法を使用する場合、磁気共鳴装置の不完全性のため所謂N/2 ゴースト画像を誘起する位相誤差が生じることは周知である。かかるアーティファクトを防止するため、欧州公開特許出願第94 528号により周知の磁気共鳴方法では、磁気共鳴の生データが得られる第1のシーケンスに加えて、そこから磁気共鳴補正データを得るため位相符号化傾斜のない間に上記第1のシーケンスと正確に同数の磁気共鳴データが得られる第2のシーケンスが実行される。従って、測定時間は2倍になる。その上、上記二つのシーケンスは、第2のシーケンスが始まる前に第1のシーケンスによって励起された核磁化を崩壊させ得るよう十分な時間的大きさで離される必要がある。この時間間隔は1秒の大きさのオーダーである。上記従来の方法によれば、ある待ち時間が必要とされる可能性があり、測定時間が増加するので、例えば、方向が連続的に変化し互いに平行に延在することのない別々の断層で核磁化の分布が連続的に定められるような実時間的な応用を想定する場合、特に欠点がある。

【0004】上記欠点は、1993年 8月発行の“SMRM Book of Abstracts”の1239ページに記載されたジェスマノウィッツ(Jesmanowicz)等の論文により周知の方法によって回避される。上記論文によれば、補正データは、位相符号化傾斜の時間積分が値ゼロに達するとき、EPIのシーケンスに正及び負の極性で連続的に生ずる2個の磁気共鳴信号から得られる。一方は読み出し傾斜の正の極性で、他方は読み出し傾斜の負の極性で得られる磁気共鳴の生データ用の補正データは、上記2個の磁気共鳴信号から得られる。しかし、この方法によって十分な結果が得られるのは、位相誤差が時間的に変化しない場合に限られる。局部的に不均等な静磁場の場合、従来の磁気共鳴方法で除去し得ない時間的に変化する位相誤差が発生するので、上記のN/2 ゴースト画像が生じる。更に、渦電流によって生ずる位相誤差を検出することができない。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、一方で必要な磁気共鳴信号が十分素早く取得され、他方で位

相誤差、或いは、位相誤差から生じるアーティファクトは非常に高い程度で抑制され得る上記の形の方法を提供することである。

【0006】

【課題を解決するための手段】上記目的は、上記読み出し傾斜(G_x)の全体の正の極性及び負の極性で上記位相符号化傾斜(G_y)による影響を受けない少なくとも3個の磁気共鳴信号が得られ、上記磁気共鳴補正信号は、上記磁気共鳴信号又は上記磁気共鳴信号からフーリエ変換により得られた磁気共鳴データから得られる本発明の磁気共鳴方法によって達成される。

【0007】本発明によれば、磁気共鳴補正データが得られる磁気共鳴信号は、補正後に核磁化分布の画像が再生される位相符号化された磁気共鳴信号が得られたシーケンスと同一シーケンス中に得られる。上記読み出し傾斜の全体の正及び負の極性で位相符号化のない少なくとも3個の磁気共鳴信号が得られる。これにより、例えば、渦電流効果によって誘起された位相誤差の除去が可能になる。

【0008】位相誤差が時間的に変化する場合、補正は、— 上記磁気共鳴信号、又は、上記磁気共鳴信号からフーリエ変換により得られた上記磁気共鳴データ($S(t_1, x)$, $S(t_2, x)$)の位相誤差の変化(例えば、 $\alpha(t_1, x)$, $\alpha(t_2, x)$)が定められ、— 上記読み出し傾斜の同一極性と関係した上記位相誤差の変化($\alpha(t_1, x)$, $\alpha(t_2, x)$)の時間的変化(da_0 , da_1 ; db_0 , db_1)から、上記読み出し傾斜の上記極性で別の時点(t)に得られた磁気共鳴信号、又は、その磁気共鳴信号から得られた磁気共鳴の生データ($S(t, x)$)の上記位相誤差の変化が評価され、それに応じて上記磁気共鳴の生データが補正されることにより可能である。

【0009】その理由は、一般的に言うと、読み出し傾斜の同一の極性で異なる時点に検出された位相誤差の変化は互いに逸れるからである。シーケンス内の位相符号化とは異なる時点に得られた磁気共鳴信号の位相誤差の変化は、例えば、線形又は二次の内挿又は外挿によって上記時間的変化から評価され、それによって、磁気共鳴の生データが補正される。読み出し傾斜の正及び負の極性を有する位相の時間的変化が通常正確な線形変化であると想定すると、位相符号化を伴わない(少なくとも)2個の信号を考慮することが必要であり、時間的な二次の変化がある場合、(少なくとも)3個の信号を考慮する必要がある。

【0010】磁気共鳴の生データの位相誤差が完全に除去されたとしても、本発明の方法を実行する磁気共鳴装置の周波数応答が磁気共鳴信号の中心周波数に対し非対称である場合、ゴースト画像は依然として生じる可能性がある。このような画像のアーティファクトは、補正係数が磁気共鳴データから得られ、読み出し傾斜の同一

極性で得られた磁気共鳴の生データは上記補正係数で乗算される本発明の好ましい一実施例により除去される。磁気共鳴装置の周波数依存性の影響、その磁気共鳴画像に与える影響、及び、かかる影響の除去は、ドイツ国公開特許出願第4005 675 号明細書により周知であることに注意が必要である。しかし、上記明細書の記載によれば、位相符号化傾斜のあるシーケンスと、位相符号化傾斜のないシーケンスの二つのシーケンスを実行する必要がある。

【0011】本発明の更なる一実施例において、上記シーケンスは、上記磁気共鳴補正信号を形成するため使用される上記磁気共鳴信号が、位相符号化なしに交番極性の読み出し傾斜の間に得られる補正時間間隔と、次いで測定データを形成するため使用される上記磁気共鳴信号が、交番極性の読み出し傾斜の間に位相符号化傾斜の影響下で得られる少なくとも1個の測定時間間隔とからなる。磁気共鳴補正データが得られる磁気共鳴信号は、無線周波パルスから最短の距離にあるのでシーケンス内の全ての磁気共鳴信号の中で最良のSN比を示す。

【0012】本発明の更なる一実施例において、上記シーケンスは、上記核磁化を励起する第1の無線周波パルスと、引き続いて上記核磁化を反転させる無線周波パルスとからなり、上記補正時間間隔は上記二つの無線周波パルスの間にあり、一方、上記測定時間間隔は上記向きを変える無線周波パルスの後に続く。補正時間間隔は、原理的に、反転させる無線周波パルスと測定時間間隔の間に存在し得るが、補正時間間隔は、二つの無線周波パルスの間に置いた方がより効率的である。

【0013】本発明の方法を実行する磁気共鳴装置は、
a) 均一な静磁場を発生させる主界磁石と、
b) 交番極性の読み出し傾斜を発生させ、位相符号化傾斜を発生させる傾斜コイル装置と、
c) 少なくとも1個の無線周波パルスよりなるシーケンスを用いて検査区域における核磁化を励起する無線周波コイル装置と、
d) 上記読み出し傾斜の間に発生された上記磁気共鳴信号を受ける受信器と、
e) 位相符号化のない磁気共鳴データから得られた磁気共鳴補正データを用いて上記磁気共鳴信号から発生された磁気共鳴の生データを補正する手段と、
f) 補正された磁気共鳴の測定データから上記検査区域における上記核磁化を再生する再生装置と、
g) 上記傾斜コイル装置と、上記無線周波コイル装置と、上記受信器とを制御する制御装置とからなる磁気共鳴装置であって、上記制御装置は、上記シーケンス内の上記読み出し傾斜及び上記位相符号化傾斜の時間的変化によって、上記位相符号化傾斜による影響のない上記磁気共鳴補正データを得るため使用される夫々の磁気共鳴信号が、上記読み出し傾斜の正及び負の極性の2又は3個の各時間間隔の間に生ずるよう上記傾斜コイル装置及

び受信器を制御することを特徴とする。

【0014】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して本発明の実施例を詳細に説明する。図1に概略的に示されている磁気共鳴装置は、4本のコイルよりなり、磁気誘導が数十テスラから数テスラの大きさのオーダーである均一な静磁場を発生させる主界磁石1からなる。検査を受ける患者19は主界磁石の内側に置かれた台の上面4に載せられる。

【0015】4本のコイル3が、z方向に延在しz方向に線形に変化する磁場 G_z を発生させるため球体の表面に配置される。更に、z方向に延在しx方向（垂直方向）に線形に変化する磁場 G_x を発生させる4本のコイル7が設けられている。z方向に延在しy方向（図1の紙面に垂直な方向）に線形に変化する磁場 G_y は、4本のコイル5によって発生され、コイル5は、コイル7と同一でありコイル7に対し90°偏位するよう配置され、その中の2本だけが図示されている。簡単のため、傾斜コイルによって発生された磁場は、以下「傾斜」、又は、その機能に合わせて「読み出し傾斜」、「位相符号化傾斜」又は「断層選択傾斜」と呼ばれる。三つのコイル装置3、5及び7の各々は、球面2に対称的に配置されているので、球の中心における磁気誘導は、主界磁石1の静的、均一な磁場だけによって定められる。

【0016】静的、均一な磁場に垂直方向（即ち、z方向）に延在する本質的に均一な無線周波コイル11が更に設けられている。図2に示すように、無線周波コイル11は、必要に応じてスイッチ8を介して発振器6又は受信器9に接続することが可能である。図示したスイッチの位置の場合、無線周波コイルは検査区域で発生された磁気共鳴信号を受けるため使用される。しかし、磁気共鳴信号を受信するために、図1には図示されない（少なくとも）1個の別個の無線周波受信コイルを使用してもよい。受信器9において、磁気共鳴信号は位相検波の方式で検出され、次いで、デジタル化されるので、受信器によって供給される磁気共鳴データは、（大きさと位相を有する）複素数であると見なしてよい。

【0017】無線周波パルスの時間的位置、帯域幅及び中心周波数は、発振器6に基づいて動作する制御装置12により制御可能である。傾斜コイル装置3、5及び7の電流は、それ自体が制御装置12により制御される装置30、50及び70によって供給されるので、傾斜の時間的変化も制御装置12によって定められる。更に、低周波数範囲に変換されたデジタル化された磁気共鳴信号を処理し、出力装置14に再現するため磁気共鳴信号から検査区域の核磁化の分布を再生し得る再生装置13が設けられる。

【0018】図3には本発明に従って変形されたEPI形シーケンスの場合の種々の信号の時間的な位置が示されている。第1番目のラインは、無線周波パルスRFの

時間的位置を示している。第2乃至4番目のラインは、断層選択傾斜 G_z 、位相符号化傾斜 G_y 、読み出し傾斜 G_x の時間的变化を示している。この点で、上記傾斜は、 z 方向、 y 方向、 x 方向に延在することが仮定されているが、傾斜は任意の空間方向に延在し得るので、上記仮定は不可欠ではない。しかし、上記傾斜は互いに直交することが好ましい。任意の空間方向を有する傾斜を発生させるため、装置30、50及び70が同時に動作される必要があるので、コイル3、5及び7の傾斜が重ね合わされる。第5番目のラインには磁気共鳴信号が取得された時点が示され、第6番目のラインでは数個の特定の時点が時間軸上にプロットされている。

【0019】シーケンスは、断層選択性の 90° の無線周波パルスで開始され、即ち、無線周波パルス（第1番目のライン）には断層選択傾斜 G_z （第2番目のライン）が関係しているので、検査区域の核磁化は z 軸の垂直方向に延在する断層だけで励起される。無線周波パルスに続いて、読み出し傾斜 G_x がスイッチオンされ；読み出し傾斜の極性は、最初に正（20）であり、次いで、負（21）、正（22）の如くである。時間的变化は、傾斜パルス20に対する読み出し傾斜のゼロ交差の間の時間積分の大きさが引き続く傾斜パルス21、22、24の全てに対する読み出し傾斜のゼロ交差の間の時間積分の半分と正確に一致するよう選択される。これは、次の正又は負の傾斜パルスの一つの間の磁気共鳴信号の受信時に、空間周波数範囲を示す k -空間は、端点が k -空間の零点から同一距離にある直線に沿って走査されることを意味する。

【0020】傾斜が傾斜パルス24までにその極性を4回反転させた後、位相符号化傾斜 G_y は、次の読み出し傾斜 G_x の間にスイッチオン及びオフされるので（パルス31）、次の読み出し傾斜中に発生された磁気共鳴信号の位相は符号化される。読み出し傾斜のゼロ交差時に、短い傾斜パルス（所謂「ブリップ」）32が発生されるので、続いて発生された磁気共鳴信号の位相符号は変化する。読み出し傾斜の更なるゼロ交差の各々に応じて更なるブリップ32が発生される。ブリップ32は位相符号化傾斜のパルス31とは反対の極性を有し、パルス31の間の時間積分は、ブリップ32の時間積分の倍数に達するが；全部のブリップ32の時間積分の合計よりも小さい。

【0021】図3に符号41、42、43及び44で示された時間間隔は、その時間間隔で読み出し傾斜はその極性が変わらず、その時間間隔の中心は図3のライン6に従って t_1 、 t_2 、 t_3 及び t_4 によって示されている。かかる時間間隔の各々において、完全な磁気共鳴信号（又は、所謂「傾斜エコー」）が得られる。時間間隔41及び43において、傾斜パルス21、23は常に負の極性であり、時間間隔42及び44において、傾斜パルス22、24は正の極性である。位相符号化傾斜 G_y

のパルス31に続いて、 N 個の磁気共鳴信号が時間間隔45、46、47...48の間に得られる。ここで、 N は、実質的に4よりも大きく、例えば、128である。

【0022】時間間隔41...44の間に得られた磁気共鳴信号には位相符号化が全くない。理想の場合、即ち、主界磁石は完全に均質であり、緩和現象は発生せず、磁気共鳴装置は周波数依存性の伝達特性を有する場合、上記磁気共鳴信号、又は、個々の磁気共鳴信号のフーリエ変換から生ずるデータは、同一である。磁気共鳴装置は完全ではなく、かつ、緩和現象があるので、上記磁気共鳴信号、又は、磁気共鳴信号から得られたフーリエ変換は、相互に逸れる。上記不完全さは、4個の磁気共鳴信号を取得した後にも依然として存在するので、時間間隔45...48の間に得られた磁気共鳴信号から抽出された磁気共鳴の生データを補正し得る磁気共鳴補正データを上記磁気共鳴信号から得ることが可能である。

【0023】このため、図4のフローチャートに従って、再生装置13で実行されるコンピュータプログラムのフローチャートの一部分を示す。最初に、時間間隔41...44と45...48の間に得られた各磁気共鳴信号は1次元のフーリエ逆変換をうける。これにより得られた時間、又は、読み出し傾斜の方向で空間周波数 k_x （ k_x は、無線周波パルスの端から磁気共鳴信号内の関連するサンプリング値を取得するまでの読み出し傾斜の時間積分である）に依存する磁気共鳴信号のデジタル的な複素サンプリング値は、再度、一連の複素磁気共鳴データ $S(t, x)$ に変換される。ここで、値 t は、シーケンス内の磁気共鳴信号、又は、関係する位相符号化の時間的位置を示し、値 x は x 方向の位置を示す（ x は読み出し傾斜の方向である）。かくして、時間間隔45...48の間に取得された N 個の磁気共鳴信号から得られた磁気共鳴データは、以下、磁気共鳴の生データと呼ぶ。

【0024】理想的な磁気共鳴装置において、時間間隔41...44の間に得られた最初の4個の磁気共鳴信号のフーリエ変換から生じる磁気共鳴データ $S(t_1, x)$... $S(t_4, x)$ は、各時点及び各値 x に対し同一の位相を有するが；磁気共鳴装置が不完全な場合には当てはまらない。関連する位相の値ゼロからの偏りは、以下、「位相誤差」と呼ぶ。従って、磁気共鳴の生データはブロック102及び103で計算される。位相誤差は読み出し傾斜の極性にも依存しているので、以下、負の極性を有する位相誤差に対し α 、正の極性を有する位相誤差に対し β の別々の記号を使用する。 α 及び β の計算は完全に類似しているので、以下、 α の計算だけを説明する。

【0025】位相誤差はフーリエ変換によって生成された複素信号 $S(t_i, x)$ の虚部 $\text{Im}(S(t_i, x))$

x)) 及び実部 $\text{Re}(S(t_i, x))$ から計算され;
 t_i は、以下の式:

* 【0026】
 * 【数1】

$$\alpha(t_i, x) = \arctan \left[\frac{\text{Im}(S(t_i, x))}{\text{Re}(S(t_i, x))} \right] \quad (1)$$

【0027】に従って関連する磁気共鳴信号の取得の時点を示す。式中、 $\arctan[]$ は正接関数 $\tan[]$ の逆関数である。従って、第1の4個の磁気共鳴信号から得られた各関数 $S(t_1, x) \dots S(t_4, x)$ に対し、位相は位置 x の関数として得られる。位相誤差は x に依存するので、位相誤差の変化の項は、以下、 $\alpha(t_i, x)$ として用いられる。 *

※ 【0028】欧州公開特許出願第490 528 号明細書の図6に記載されている如く、通常、位相 α と位置 x の間には線形の依存性がある。従って、フーリエ変換によって第1の磁気共鳴信号から得られた信号 $S(t_1, x)$ の位相誤差変化 $\alpha(t_i, x)$ は:

【0029】
 【数2】

$$\alpha(t_1, x) \approx a_{01} + a_{11} \cdot x \quad (2)$$

【0030】のように近似することができる。式中、 a_{01} は位置 $x=0$ (所謂、一定位相) の信号 $S_1(x)$ の位相を示す係数であり、 a_{11} は x の関数として位相の線形変化を定める係数である。同様に、時点 t_3 に生じる *

★磁気共鳴信号から得られる信号 $S(t_3, x)$ の位相変化 $\alpha(t_3, x)$ に対し:

【0031】
 【数3】

$$\alpha(t_3, x) \approx a_{03} + a_{13} \cdot x \quad (3)$$

【0032】が得られる。信号 $S(t_1, x)$ 及び $S(t_3, x)$ が奇数番目のエコー、又は、常に読み出し傾斜 G_x の同一の(負)極性で得られる磁気共鳴信号から生じるとしても、殊に主界磁石によって発生される静磁場の不均等性のため、係数 a_{01} 及び a_{03} と、係数 a_{11} 及び a_{13} は互いに偏る。

【0033】本発明は、上記磁場の不完全性によって式(2)及び(3)における係数 $a_{11} \dots a_{13}$ の本質的 ☆

☆に線形の時間的变化が生じることに基づいている。これにより、不完全性のため後の時点で得られた(位相符号化された)磁気共鳴信号のフーリエ変換によって誘起される位相誤差の変化 $\alpha(t, x)$ を定めるため線形外挿を適用することができる。この線形の外挿において、

【0034】
 【数4】

$$\alpha(t, x) = a_{01} + a_{11} \cdot x + (da_0 + da_1 \cdot x) \cdot \frac{t-t_1}{t_3-t_1} \quad (4)$$

【0035】が成り立ち、式中、

$$da_0 = a_{03} - a_{01} \quad \text{及び} \quad da_1 = a_{13} - a_{11} \quad (5)$$

である。 t は、負の読み出し傾斜(図3の第6番目のラインを参照のこと)で位相誤差の変化 $\alpha(t, x)$ を誘起する磁気共鳴信号が得られる間隔の中心である。

【0036】ブロック122において、負の読み出し傾斜に従って得られた磁気共鳴の生データに対する位相誤差 $\alpha(t, x)$ の判定は、以下の如く要約することができる:

a) フーリエ変換 $S(t_i, x)$ の位相変化 $\alpha(t_i, x)$ は、読み出し傾斜の同一の(負)の極性で取得され、位相符号化なしに得られた4個の磁気共鳴信号のフーリエ変換に関し定められる。

b) 上記の如く定められた位相変化は、式(2)及び ◆

◆ (3)に従って線形の条件により近似される。

c) 読み出し傾斜の同一の(負)の極性で取得され上記位相符号化された磁気共鳴信号、又は、そのフーリエ変化によって誘起された位相誤差 $\alpha(t, x)$ が上記の如く得られた係数 $a_{01} \dots a_{13}$ から式(4)及び(5)に従って計算される。

【0037】ブロック103において、読み出し傾斜の正の極性で生じ磁気共鳴信号(又は、そのフーリエ変換 $S(t, x)$)により誘起された位相誤差の変化 $\beta(t, x)$ は、以下の式:

【0038】
 【数5】

$$\beta(t, x) = b_{02} + b_{12} \cdot x + (db_0 + db_1 \cdot x) \cdot \frac{t-t_2}{t_4-t_2} \quad (6)$$

【0039】に従って、上記ステップa)乃至c)又は

式(1)乃至(5)を同様に適用することにより計算さ

れる。式中、 b_{02} は、時間間隔42に（読み出し傾斜の正の極性で）得られ、 $x=0$ に関しフーリエ変換をうけた信号 $S(t_2, x)$ の位相であり、 b_{01} は、かかる位相の線形変化を位置 x の関数として表わしている。 t_2 及び t_4 は間隔42及び44の中心を表わし、一方、 $d b_{01}$ 及び $d b_{02}$ は時間間隔 t_2 と t_4 の間の上記値の変化を示す。上記例の場合、値 t は、例えば、時間間隔45又は47の一方のように読み出し傾斜が正である時間間隔の中心を示している。

【0040】磁気共鳴の生データに生じる位相誤差 $\alpha(t, x)$ 及び $\beta(t, x)$ が完全に除去されたとしても、上記磁気共鳴信号を有する装置の一部の周波数応答が磁気共鳴信号の中心周波数に対称的ではない場合、特に、磁気共鳴の受信コイルが上記中心周波数に正確に調整されていない場合、ゴースト画像が依然として発生する可能性がある。何故ならば、かかる周波数応答は、読み出し傾斜の負の極性で取得された磁気共鳴の生データとは別の態様で読み出し傾斜の正の極性で取得された磁気共鳴の生データに影響を与えるからである。 *

$$A(x) = \frac{|S_b(x)|}{|S_a(x)|}$$

【0044】によって定められる。式中、 $|S_a(x)|$ 又は $|S_b(x)|$ は、 $S_a(x)$ 又は $S_b(x)$ の大きさである。 $S_a(x)$ は読み出し傾斜の負の極性で取得された2個の磁気共鳴信号の中の一つのフーリエ変換（即ち、 $S(t_1, x)$ 又は $S(t_3, x)$ に対応する）を表わす。 $S_b(x)$ は、位相符号化なしに読み出し傾斜の正の極性で得られた $S(t_2, x)$ 又は $S(t_4, x)$ を表わす。

【0045】読み出し傾斜の負の極性で取得された磁気*

$$A(x) = \frac{1}{2} \cdot \frac{|S_a(x)| + |S_b(x)|}{|S_a(x)| + \delta};$$

$$B(x) = \frac{1}{2} \cdot \frac{|S_a(x)| + |S_b(x)|}{|S_b(x)| + \delta} \quad (8)$$

【0048】に従って $A(x)$ 及び $B(x)$ が計算される第2のセットアップにより、更に魅力的な結果が得られる。式中、 δ は、磁気共鳴データが多数のノイズを含む場合、数値的な不連続性を防止する正規化パラメータである。式(8)に従う補正係数 $A(x)$ と $B(x)$ による磁気共鳴の生データの乗算は、ゴースト画像を防止するだけでなく、上記の如く補正された生データに対する周波数依存性の影響を実質的に除去する。 ★

$$S_{\text{acor}}(t, x) = A(x) \cdot e^{j\alpha(t, x)} \cdot S_a(x)$$

【0051】に従って計算される。同様に、読み出し傾斜の正の極性で取得された磁気共鳴の生データはブロック107において式：

(7)

特開平8-206095

12

* 【0041】しかし、上記周波数依存性は、位相符号化なしに定められた磁気共鳴データ $S(t_1, x) \dots S(t_4, x)$ に基づいて除去される。位相符号化傾斜を用いないで取得された磁気共鳴信号のスペクトルは、磁気共鳴装置の周波数応答による影響を受ける。上記磁気共鳴信号から発生された磁気共鳴データ $S(t_1, x) \dots S(t_4, x)$ に対し同じことが言え、読み出し傾斜の正の極性で取得された磁気共鳴データは、読み出し傾斜の負の極性で取得された磁気共鳴データとは別の態様で影響を受ける。従って、上記磁気共鳴データから補正係数 $A(x)$ 及び $B(x)$ が得られ、これにより、磁気共鳴の生データ $S(t, x)$ への周波数依存性の影響は除去される。補正係数 $A(x)$ 及び $B(x)$ の計算に別のセットアップを適用し得る。

【0042】第1のセットアップによれば、補正係数 $A(x)$ 及び $B(x)$ は以下の式：

【0043】

【数6】

$$\text{及び } B(x) = 1 \quad (7)$$

※ 共鳴の生データ $S(t, x)$ は、式(7)に従って係数 $A(x)$ により乗算され、読み出し傾斜の正の極性で取得された磁気共鳴の生データは係数 $B(x)$ によって乗算されるとき、周波数依存性の伝達関数は得られた積に同一の影響を有するので、ゴースト画像は消えるが、周波数依存性は残る。

【0046】以下の式：

【0047】

【数7】

★ 【0049】補正係数 $A(x)$ 及び $B(x)$ が、ブロック104及び105において式(7)又は(8)に従って読み出し傾斜の負の極性で取得された磁気共鳴の生データから上記の如く計算された後、補正されたデータ $S_{\text{acor}}(t, x)$ は、ブロック106において式：

【0050】

【数8】

☆ 【0052】

【数9】

☆ 50

$$S_{bcor}(t, x) = B(x) \cdot e^{-j\beta(t, x)} \cdot S_b(x) \quad (10)$$

【0053】に従って補正される。正及び負の極性から生じたデータの組 $S_{bcor}(t, x)$ 及び $S_{acor}(t, x)$ が一つのデータの組だけを形成するよう結合された後、更なる1次元のフーリエ逆変換が同一の値 x と関係し、別の時点 t 又は別の位相符号化と関係するデータに行われ(ブロック108);そこから、断層選択無線周波パルスRFにより励起された断層内の核磁化分布の画像であって $N/2$ ゴースト画像を含まない画像が形成される。

【0054】位相符号化傾斜 G_y のパルス31に亘る時間間隔がブリップ32に亘る時間間隔の正確に整数倍に達するとき、次に生じる磁気共鳴信号の位相符号化傾斜 G_y に亘る時間間隔はゼロに一致する(即ち、 $k_y = 0$ である)。これは、上記磁気共鳴信号に位相符号化が少しもないということを意味する。この場合において読み出し傾斜の次の3回の極性反転の間にブリップが存在しないならば、位相符号化のない4個の磁気共鳴信号はシーケンスの中心で取得され、磁気共鳴補正データはそこから取り出される。上記の場合において、前以って4個の磁気共鳴信号を取得することはもはや必要ではないので、位相符号化がより早く開始される。しかし、位相符号化傾斜の時間積分が磁気共鳴補正データの形成に使用される磁気共鳴信号の取得の時点まで正確にゼロであるという条件を満たす必要がある。特定の欠点は、位相符号化の開始後に得られた磁気共鳴信号は、位相符号化の開始前に得られた磁気共鳴信号よりも無線周波励起パルスから時間的距離が遠くにあるので、位相符号化の開始前に得られた磁気共鳴信号のSN比は、位相符号化の開始前に得られた磁気共鳴信号よりも劣ることである。

【0055】位相符号化の前又は後の何れかに磁気共鳴補正データを形成するため使用される4個の磁気共鳴信号を得る代わりに、位相符号化の前に上記磁気共鳴信号の中の2個、位相符号化の後に上記磁気共鳴信号の中の2個、即ち、読み出し傾斜の正の極性と負の極性で1個ずつを取得することが可能である。位相差 d_a 、及び d_{a1} (式4)、又は、 d_b 、及び d_{b1} (式6)は増加し、これにより、 $\alpha(t, x)$ 及び $\beta(t, x)$ の計算精度に効果が得られる。

【0056】殆どの場合、式(4)及び(6)に含まれるセットアップは、位置の依存性を表わす係数 a_0, \dots, a_{13} 又は b_0, \dots 等の線形の時間的依存性に基づいて、 $N/2$ ゴースト画像を十分に補償し得る。静的な主界磁石の不均衡性が大きい場合、2次の時間的セットアップによって考慮し得る時間的な非線形変化が生じる可能性がある。このため、読み出し傾斜の同一極性で取得された(少なくとも)3個の磁気共鳴信号の位相誤差の変化を定める必要がある。次いで、2次の時間的セットアップの係数は、それから定められた位相誤差

変化の時間的依存性が上記磁気共鳴信号に対し測定された時間的依存性にできる限り良く一致するような形態で定められる。

【0057】式(2)及び(3)の場合に、位相誤差の変化、すなわち、位相誤差の空間的依存性は、線形のセットアップにより考慮し得ることが仮定され;かかる仮定は通常充たされる。 x に線形に依存する上記セットアップが十分ではない場合、より高次のオーダーの位相変化が近似され、別々に定められた係数は時間に線形に(又は2次的な規則で)依存することが再度仮定される。

【0058】図5には本発明により変形された更なるEPIシーケンスが示されている。同図に示された更なるEPIシーケンスは、断層選択性無線周波パルスの後に断層選択性の 180° 無線周波パルスが続く点で図3に示されたシーケンスから逸れている。位相符号化のない4個の磁気共鳴信号が、 180° 無線周波パルスの後ではなく、2個の無線周波パルスの間の時間間隔に取得される場合に利点が得られる。向きを変える 180° パルスは全ての位相、即ち、全ての位相誤差も反転させる。上記反転は時間軸の鏡像であると見なされる。かくして得られた新しい時間的基準は、実質的に測定された磁気共鳴の生データ $S(t, x)$ のフーリエ変換の位相誤差の予測のための式(4)及び(6)内のシフトであると見なす必要がある。

【0059】図6は、本発明による周知のグレース(GRASE)シーケンスの一変形例である。断層選択傾斜の時間的変化は図示されていない。GRASEシーケンスは、励起されるべき断層内の核磁化に影響を与える第1の 90° 無線周波パルスに加え、向きを変える一連の 180° 無線周波パルスよりなることが周知である。例えば、2個の 180° 無線周波パルスの間の各々で、好ましくは、奇数個の磁気共鳴信号が交番読み出し傾斜 G_y と共に得られる。最初の2個の方向を変える 180° 無線周波パルスの間で位相符号化はない。第2及び全ての更なる 180° 無線周波パルスに続いて、位相符号化傾斜パルス31'が加えられ、パルス31'の後に、読み出し傾斜と同期して一連のブリップ32が続く。ブリップの後、かつ、次の 180° パルスの前に更なるパルス31''が加えられる。パルス31''は、2個の 180° パルスの間で位相符号化傾斜の時間積分が一定値、好ましくは値ゼロを有するよう釣り合わされる。2個のパルス間の読み出し傾斜の極性反転の回数は、全ての更なる無線周波パルスの間の極性反転の回数と正確に一致する必要がある。しかし、例えば、最初の2個と最後の2個の磁気共鳴信号の如く、最初の間隔に生じる位相符号化のない4個の磁気共鳴信号だけを評価する必要がある。

【0060】上記の如く、読み出し傾斜の正及び負の極性に対し時間依存性の位相誤差を補正する方法、受信器及び受信器コイルの特性が増倍係数によって補正される方法について説明した。しかし、渦電流によって誘起された位相誤差を補正することも可能である。このため、例えば、図6に示したシーケンスのように向きを変える180°パルスに続いて位相符号化のない（少なくとも）3個の磁気共鳴信号からなるシーケンスが使用される。2番目の磁気共鳴信号の中心 t_2 は、核磁化の方向を変える時点と一致する必要がある、即ち、かかる磁気共鳴信号と方向を変える180°パルスとの間の時間的距離は、先行する90°励起パルスからの距離と一致する必要がある。更に、磁気共鳴信号が取得されるべき前（時点 t_1 ）と後で、時点 t_1 及び時点 t_3 の読み出し傾斜は、おそらく時点 t_2 の読み出し傾斜に対し逆の極性を有することが想定される。その上、 t_1 と t_2 の間の時間的距離は、 t_2 と t_3 の間の時間的距離と正確に *

$$\phi(t_1, x) = -\theta(x) - \varepsilon(x) \quad (11)$$

$$\phi(t_2, x) = +\varepsilon(x) \quad (12)$$

$$\phi(t_3, x) = +\theta(x) - \varepsilon(x) \quad (13)$$

のように表わされる。

【0062】磁気共鳴データの適当な乗算によって、項※

$$P(x) = S(t_1, x) S^*(t_2, x) S(t_3, x) S^*(t_4, x) \quad (14)$$

に従って計算され、式中、 $S^*(t_2, x)$ は $S(t_2, x)$ の共役複素数の値を表わす。積 $P(x)$ は、式(1)と同様に定められる位相を有し、位相誤差 $\varepsilon(x)$ の4倍に一致し、かくして見つけられた値は、読み出し傾斜を発生させる遅延時間とは実質的に無関係である。磁場の不均等性により誘起される位相誤差は、例えば、 $S(t_1, x)$ と $S^*(t_3, x)$ の積から定められる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を実行するため適当な磁気共鳴断層撮影装置を示す図である。

【図2】磁気共鳴断層装置のブロック図である。

【図3】第1のシーケンスによる磁気共鳴信号の取得中の種々の信号の時間的変化を示す図である。

【図4】補正方法を示すブロック図である。

【図5】本発明による第2のシーケンスを示す図である。

【図6】第3のシーケンスを示す図である。

【符号の説明】

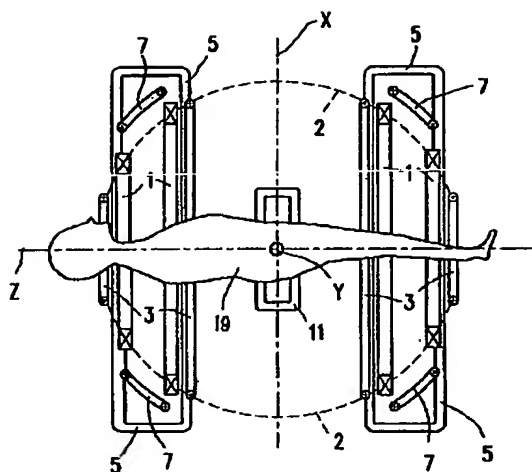
*一致する必要がある。

【0061】従って、フーリエ変換によって上記3個の信号から得られた磁気共鳴データ $S(t_1, x)$ 、 $S(t_2, x)$ 及び $S(t_3, x)$ の位相誤差に関し以下のことが成り立つ。位相誤差は、磁場の不均等又は共鳴外の影響に起因する成分 $\theta(x)$ と、渦電流効果により誘起される成分 $\varepsilon(x)$ とにより構成される。時点 t_2 における反転のため、磁場の不均等性は $S(t_2, x)$ の位相誤差に影響を与えない。磁気共鳴データ $S(t_1, x)$ 及び $S(t_3, x)$ の $\theta(x)$ は同一の大きさであるが；3個の連続する磁気共鳴信号の間の時間的距離は同一であるので逆の符号を有する。渦電流により誘起される位相誤差は、全ての磁気共鳴データ $S(t_1, x) \dots S(t_3, x)$ において同一の絶対値を有するが、その符号は、関連する磁気共鳴データの取得中に有効な読み出し傾斜に基づいて変化する。3個の投影に対し得られた位相誤差は、以下の式：

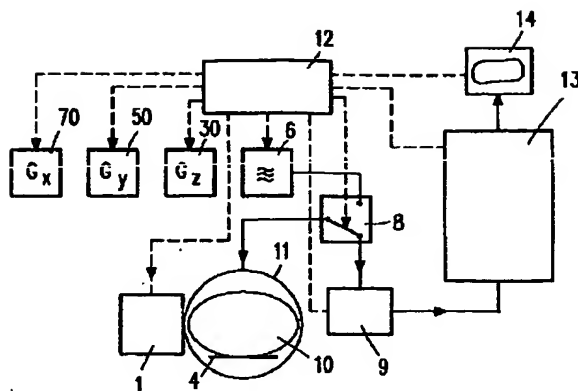
※ $\theta(x)$ 及び $\varepsilon(x)$ は補正として利用するため分離される。積 $P(x)$ は次式：

- ★ 1 主界磁石
- 2 球面
- 3, 5, 7 傾斜コイル装置
- 4 台の上面
- 6 発振器
- 8 スイッチ
- 9 受信器
- 11 無線周波コイル装置
- 12 制御装置
- 13, 105 再生装置
- 14 出力装置
- 19 患者
- 20, 21, 22, 23, 24 傾斜パルス
- 30, 50, 70 装置
- 31, 31', 31'' パルス
- 32 ブリッパ
- 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48 時間間隔
- 102, . . . , 104 補正手段

【図1】

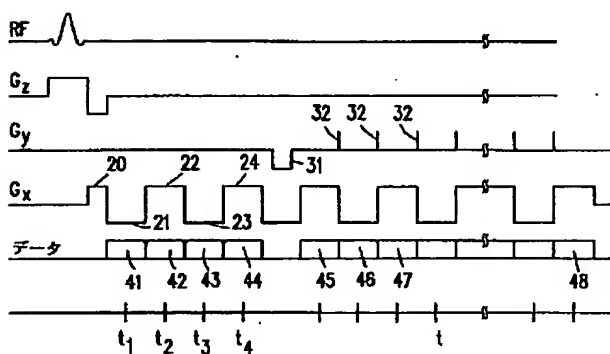


【図2】

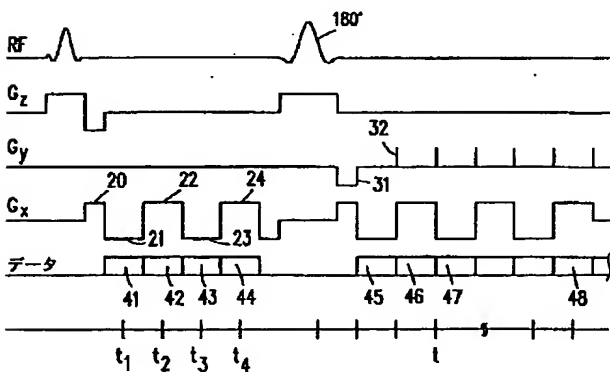


【図4】

【図3】



【図5】



【図6】

